



КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

Владимир Копытов

lines@ostec-group.ru

Нанесение полимерной влагозащитной пленки на печатный узел (ПУ) сегодня является основным способом борьбы производителей электроники с агрессивным воздействием окружающей среды при эксплуатации электронных средств (ЭС). В данной статье рассматриваются основные виды дефектов при нанесении влагозащитных покрытий и меры борьбы с ними.

1 ЧТО ОПРЕДЕЛЯЕТ СТАНДАРТ IPC-A-610E «КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СБОРОК»?

Согласно IPC-A-610E п. 10.8 идеальное покрытие должно соответствовать следующим требованиям:

- хорошая адгезия покрытия к ПУ;
- отсутствие пустот или пузырей;
- отсутствие плохой смачиваемости, отслоений, складок, трещин, ряби, кратеров или дефектов «апельсиновой корки»;
- отсутствие загрязнений и посторонних включений в покрытие;
- отсутствие потемнения или потери прозрачности;
- влагозащитный материал должен быть полностью отвержден и однороден.

При этом допустимым для аппаратуры 1, 2 и 3 класса считается:

- отсутствие замыканий между соседними контактными площадками или проводящими поверхностями печатного узла, вызванных:
 - ✓ отслаиванием покрытия от поверхности печатной платы;
 - ✓ присутствием пузырей;
 - ✓ трещинами;
 - ✓ рябью;
 - ✓ вздутиями и дефектом «апельсиновой корки».
- инородные включения не должны нарушать минимальный электрический зазор между компонентами, контактными площадками или проводящими поверхностями.

Таким образом, присутствие некоторых видов дефектов допустимо при условии, что это не приведет к замыканию проводящего рисунка. При этом из новой редакции стандарта IPC-A-610E были удалены следующие пункты, присутствующие в предыдущей редакции IPC-A-610D:

- Может обнаруживаться потеря адгезии покрытия на участке, непосредственно прилегающем к паяльной маске.
- Влагозащитное покрытие нанесено тонким слоем, но покрывает края и торцы компонентов/устройств.

Обеспечение необходимой толщины является одним из важных требований к влагозащитным покрытиям. Стандарты IPC (IPC-A-610, J-STD-001, IPC-2221) определяют следующие толщины для различных материалов, наносимых на электронные сборки:

Таблица 1 Толщины для различных материалов, наносимых на электронные сборки

Тип AR	Акриловые материалы	0,03-0,13 мм
Тип ER	Эпоксидные материалы	0,03-0,13 мм
Тип UR	Уретановые материалы	0,03-0,13 мм
Тип SR	Силиконовые материалы	0,05-0,21 мм
Тип XY	Полипараксилилен	0,01-0,05 мм

2 ВИДЫ ДЕФЕКТОВ, ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ

Плохая адгезия влагозащитного покрытия к печатной плате (рис. 1).

Если наблюдается плохая адгезия к паяльной маске, отслоение покрытия от поверхности компонентов, первое, на что стоит обратить внимание, – это чистота печатного узла. Перед нанесением покрытия поверхность ПУ должна быть сухой и чистой.

В дополнение к отмывке для улучшения адгезии можно произвести подогрев поверхности ПП или подогрев материала перед нанесением. Если нагреть материал примерно до 40-50°C, то понизится вязкость материала и ускорится процесс испарения растворителя, а, следовательно, полимеризации и формирования пленки. Например, компания-производитель оборудования для влагозащиты Asymtek предлагает специальное решение – модули SC104/105 и SC400 VCS с подогревом и циркуляцией материала.

При этом нужно иметь в виду, что максимальная адгезия покрытия достигается после его полной полимеризации. У некоторых материалов она происходит по истечении времени отверждения

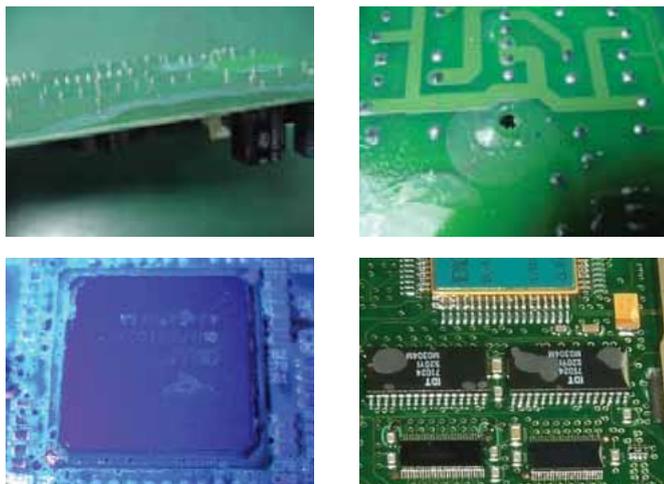


Рис. 1 Плохая адгезия покрытия к ПП и компонентам

при заданной температуре. Для материалов, отверждаемых при комнатной температуре (Room Temperature Vulcanization или RTV), время достижения максимальной адгезии к поверхности печатной платы может отставать от времени полного отверждения покрытия. Разница может составлять несколько суток. А, например, материал двойного отверждения Humiseal UV40 для достижения максимальной адгезии (помимо отверждения под ультрафиолетом (УФ)) необходимо выдерживать во влажной среде. Для определения параметров отверждения следует обратиться к техническим данным на используемый материал.

В некоторых случаях увеличить адгезию влагозащитного покрытия можно с помощью предварительной грунтовки поверхности. Производители материалов, например, Humiseal или Dow Corning, предлагают специальные грунующие смеси (праймеры) для своих покрытий. Также можно разбавить материал, чтобы содержание твердых частиц в нем не превышало 5%. Материал разбавляют соответствующим разбавителем и наносят на поверхность ПУ. Из-за низкого содержания твердых частиц такой слой высохнет очень быстро. Разбавитель выступит в роли чистящего средства, а тонкий слой легче осядет на «капризной» поверхности. После этого можно будет наносить основное покрытие.

Возможные причины отслоения и плохой адгезии:

- не обеспечена чистота поверхности ПУ;
- высокая скорость (градиент) отверждения;
- отсутствует совместимость влагозащитного покрытия и поверхности ПУ из-за несоответствия поверхностного натяжения подложки и покрытия;
- осмотические явления из-за некачественно отмытой поверхности.

Решение:

- удалить загрязнения с поверхности ПУ;
- уменьшить скорость отверждения материала;
- произвести подогрев ПУ или материала;
- применить грунующий слой;
- поменять влагозащитное покрытие и/или паяльную маску, чтобы привести в соответствие поверхностное натяжение подложки и отвержденного покрытия.

Капиллярный эффект

Капиллярное затекание влагозащитного покрытия (рис. 2, 3) в места, куда оно не должно попасть – это очень распространённое явление. Особенно часто оно наблюдается при нанесении покрытия на компоненты с узким зазором между корпусом и ПП (например, компоненты BGA, для которых затекание влагозащитного покрытия под корпус согласно стандарту IPC-7095B недопустимо), либо на разъемы, когда материал проникает внутрь компонента и поднима-

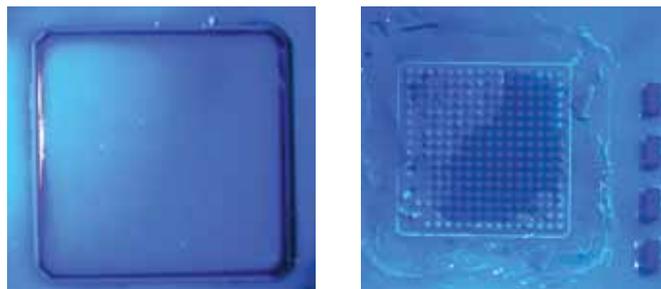


Рис. 2 Капиллярный эффект под компонентом BGA

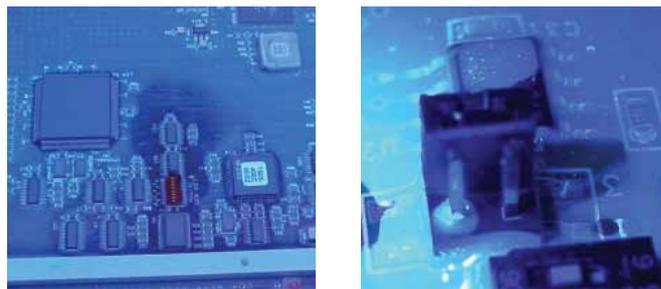


Рис. 3 Капиллярный эффект на поверхности ПУ

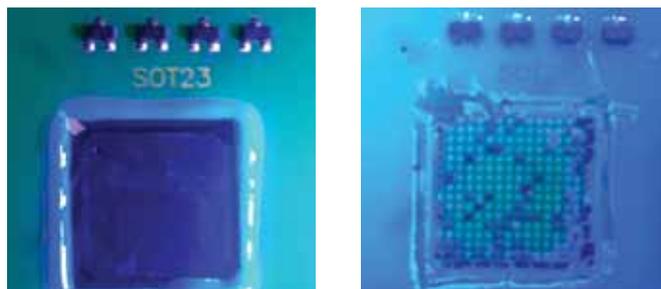


Рис. 4 Использование геля для герметизации компонента BGA перед нанесением покрытия и результат после демонтажа элемента

ется по контактирующей поверхности, препятствуя электрическому контакту с ответной частью.

Для защиты компонентов от капиллярного затекания компания Humiseal предлагает модификации своих влагозащитных материалов в виде гелей с высокой вязкостью. Гель наносится по контуру компонента, подлежащего защите, и выступает в роли барьера от капиллярного проникновения обычного покрытия (рис. 4). При этом они полностью совместимы по химическому составу.

Возможные причины возникновения капиллярного эффекта:

- низкая вязкость влагозащитного материала;
- чрезмерно большое количество материала;
- низкое поверхностное натяжение подложки;
- высокое поверхностное натяжение влагозащитного материала.

Решение:

- увеличить вязкость материала;
- уменьшить толщину покрытия;
- использовать гели для защиты компонентов типа BGA и разъемов;
- помыть ПУ;
- не применять материалы на водной основе либо материалы с так называемым 100% содержанием твердых частиц. Заменить их материалами на основе растворителя;
- перед нанесением нагреть влагозащитный материал, чтобы ускорить процесс полимеризации и формирования покрытия.

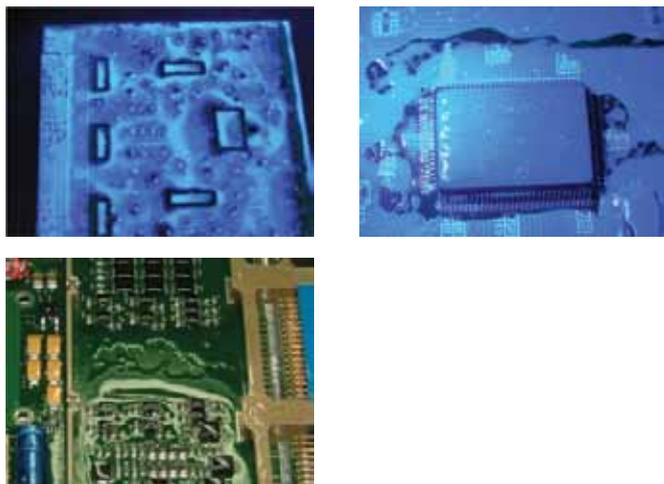


Рис. 5 Плохое смачивание поверхности ПУ

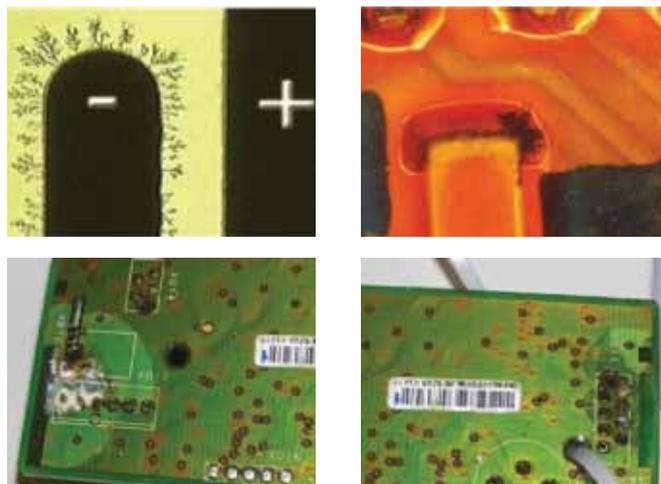


Рис. 7 Примеры коррозии на ПУ

Плохое смачивание поверхности

Возможные причины:

- загрязнения на ПП (при производстве и сборке ПП);
- низкое поверхностное натяжение подложки;
- высокое поверхностное натяжение материала;
- использование силиконовых клеев, герметиков, смазок и т.п. при производстве ПУ, химическая несовместимость влагозащитного материала и силиконов;
- загрязнения от моющих средств и остатков процесса пайки в результате некачественной отмывки ПП;
- загрязнения от рук при переноске ПП.

Решение:

- обеспечить качественную отмывку ПП перед нанесением влагозащитного покрытия;
- подобрать совместимые материалы, поверхностное натяжение подложки должно быть больше поверхностного натяжения материала;
- повысить культуру производства и технологическую дисциплину персонала при сборке и транспортировке ПП;
- если наблюдается неудовлетворительное растекание влагозащитного покрытия по поверхности ПУ, необходимо удалить не растекшуюся часть покрытия, очистить поверхность ПУ и нанести материал повторно.

Трещины в покрытии

Возможные причины образования трещин:

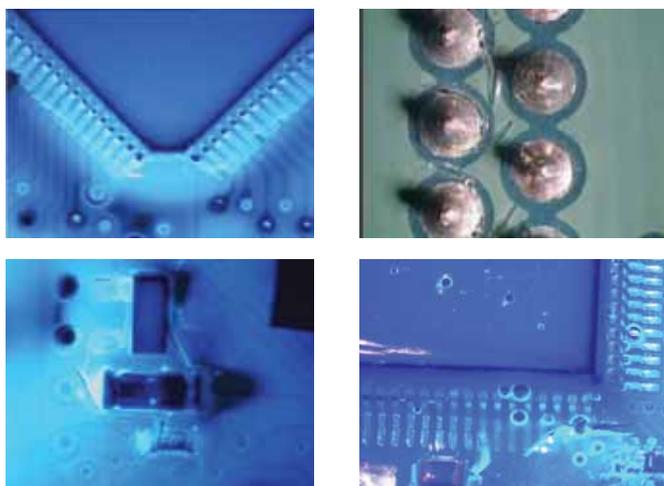


Рис. 6 Трещины во влагозащитном покрытии

- высокая температура отверждения;
- высокий градиент отверждения;
- слишком большая толщина нанесенного материала. Может приводить к медленной полимеризации покрытия и образованию неоднородной структуры с разными коэффициентами температурного расширения (КТР);
- чем менее эластично и жестче покрытие, тем больше оно подвержено образованию трещин и отслаиванию. Особенно если ПУ эксплуатируется в условиях низких температур или частых температурных перепадов.

Решения:

- понизить температуру отверждения;
- выдержать покрытие при комнатной температуре перед установкой в камеру для полимеризации;
- уменьшить толщину покрытия;
- выбрать влагозащитное покрытие в соответствии с условиями эксплуатации изделия;
- выбрать более гибкое покрытие.

Коррозия и электрохимическая миграция под влагозащитным покрытием

Коррозия и электрохимическая миграция (рис. 7) вызываются ионными загрязнениями, оставшимися на поверхности ПУ в результате некачественной отмывки. Процесс развития коррозии растянут во времени и отследить его на этапе производства и тестирования ПУ затруднительно. Загрязнения могут попадать на ПУ и в процессе транспортировки (отпечатки пальцев) и хранения (пыль).

Поэтому необходимо выполнять следующие требования:

- обеспечивать чистоту ПУ. Для аппаратуры ответственного назначения отмывка обязательна;
- в случае, когда допускается нанесение влагозащитного покрытия без отмывки, с применением безотмывочных паяльных материалов, нужно придерживаться следующих рекомендаций:
 - ◆ уделять особое внимание входному контролю ПП и компонентов на паяемость и чистоту, не использовать плохо паяемые компоненты в производстве и ни в коем случае не применять активные флюсы;
 - ◆ операторы должны работать в перчатках;
 - ◆ использовать безотмывочные флюсы (в том числе в составе паяльных паст и трубчатых припоев) с низким содержанием твердых частиц;
 - ◆ процесс пайки должен быть оптимизирован и полностью контролируем, чтобы флюс, нанесенный на ПУ, полностью нейтрализовался;
 - ◆ особое внимание уделять строгому контролю процесса сборки.

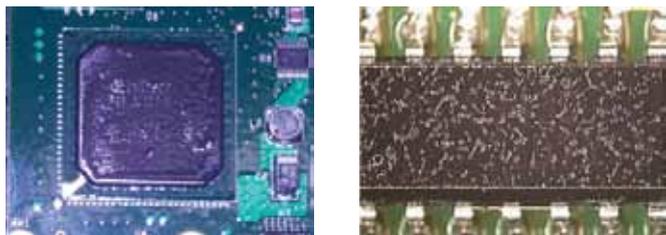


Рис. 8 «Апельсиновая корка»

«Апельсиновая корка»

Возможные причины:

- высокая вязкость влагозащитного материала препятствует самовыравниванию покрытия;
- покрытие нанесено толстым слоем;
- выбран неправильный профиль или способ отверждения при ускоренном процессе полимеризации. Растворители не успевают испариться, остаются под полимеризованной пленкой и стягивают ее, образуя «апельсиновую корку»;
- механическая встряска при быстром отверждении материала.

Решение:

- уменьшить вязкость влагозащитного покрытия, чтобы шел процесс самовыравнивания;
- нанести покрытие в несколько тонких слоев, чтобы сформировать ровное покрытие. Не применять нанесение одним толстым слоем;
- оптимизировать процесс нанесения влагозащитного покрытия. При распылении уменьшить давление сжатого воздуха, чтобы уменьшить испарение растворителя;
- оптимизировать процесс отверждения влагозащитного материала в соответствии с рекомендациями производителя.

Пузыри

Возможные причины:

- покрытие при отверждении образует пленку, которая препятствует выходу растворителя. При этом растворитель собирается в пузыри и может образовывать кратеры;
- слишком толстое или вязкое покрытие дольше удерживает пузыри, препятствуя их выходу;
- воздух, заблокированный под компонентами, может выходить во время сушки и отверждения, образуя пузыри.
- неоптимизированный процесс распыления может приводить к повышенному образованию пузырей и пены;
- воздух может попадать во влагозащитный материал при его перемешивании и заливке в резервуар для установок влагозащиты.

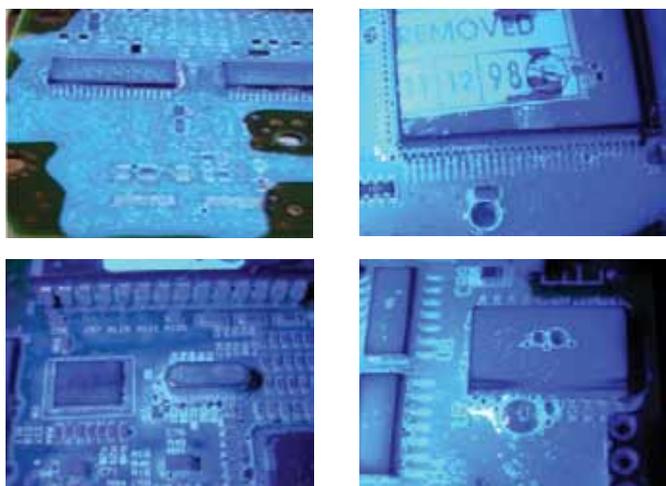


Рис. 9 Пузыри во влагозащитном покрытии

При подаче внешнего давления он не выходит из материала и проявляется при нанесении в виде пузырей в покрытии;

- интенсивная работа кистью при ручном нанесении вязких материалов или материалов на водной основе.

Решение:

- нанести покрытие в несколько тонких слоев, не наносить материал одним толстым слоем;
- проверить температурный профиль при отверждении покрытия, придерживаться рекомендации производителя влагозащитного покрытия. При термическом отверждении рекомендуется использовать инфракрасные печи, чтобы обеспечить равномерную полимеризацию по всей толщине покрытия;
- уменьшить вязкость материала;
- плавно перемешивать и переливать материал в резервуары по стенке, это уменьшит попадание воздуха в материал;
- перед использованием пневматических систем подачи и нанесения влагозащиты необходимо дать материалу отстояться без подачи внешнего давления, пока пузыри не выйдут из покрытия;
- выбирать подходящее оборудование для нанесения. Многие производители материалов и оборудования сотрудничают друг с другом, следовательно, можно получить рекомендации по нанесению определенного материала на конкретной установке. Наилучший вариант – когда есть возможность предварительно оценить качество нанесения материала до покупки оборудования;
- следить за уровнем материала в резервуарах, своевременно его добавлять и не оставлять на длительный период под давлением;
- при нанесении влагозащитного материала кистью необходимо работать плавно, чтобы материал стекал на ПП. Интенсивные движения провоцируют вспенивание материала и образование пузырей.

Неравномерная толщина покрытия

Рекомендации в стандарте IPC относительно толщины влагозащитных покрытий разных типов (таблица 1) весьма расплывчаты. Толщина покрытий может варьироваться от 0,01 до 0,2 мм. При этом нет четких данных, которые бы говорили, что толщина покрытия в 0,2 мм дает вдвое лучшую защиту, чем 0,1 мм. С одной стороны, большая толщина покрытия приводит к образованию неоднородной структуры, к большой разнице в КТР, возникновению внутренних напряжений, отслоению и образованию трещин. С другой стороны, мировые производители материалов не стоят на месте и предлагают новые виды влагозащитных покрытий, которые можно наносить толстым слоем порядка 0,3-0,5 мм и более. Такие материалы могут быть очень вязкими и нанести их толщиной 0,13 мм даже автоматизированным способом – непростая задача. Таким образом, для

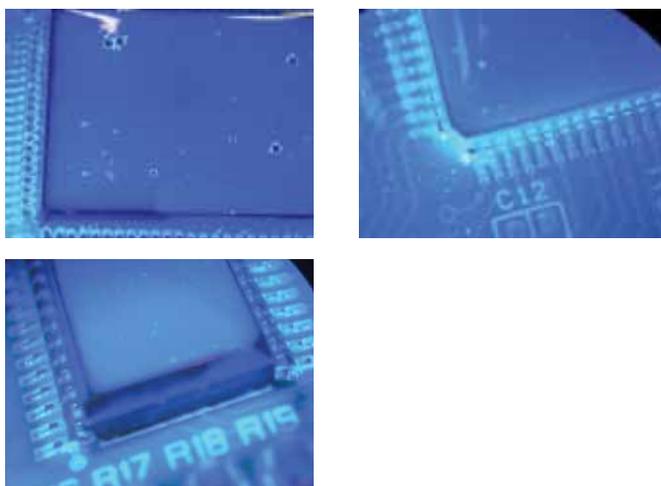


Рис. 10 Недостаточная толщина или отсутствие покрытия на выводах элементов



каждого материала существуют свои рекомендации по допустимой толщине покрытия, которые могут отличаться от рекомендованных по стандартам IPC.

Методики испытания покрытий, описанные в стандартах (например, стандарт IPC-CC-830, IPC-TM-650), обычно сводятся к нанесению покрытия на ровный участок тестовой ПП или металлической пластины. Реальный ПУ не ровный, на нем могут находиться компоненты различной высоты, которые имеют вертикальные торцы, скосы, углы, закрытые и теневые зоны. Добиться равномерного слоя по всей поверхности ПУ в этой ситуации практически невозможно. Толщина покрытия будет сильно различаться на ровной горизонтальной поверхности ПП и, например, на выводах компонента, которые могут оказаться незащищенными (рис. 10). Все это приводит к необходимости увеличивать толщину покрытия. В этом случае могут помочь методы автоматизированного селективного (избирательного) нанесения материала именно на те места, где это необходимо. Данная технология позволяет добиться повторяемого результата от платы к плате.

В отдельную группу выделяются параксиллиеновые покрытия, осаждаемые из газовой фазы. Технология нанесения этого материала подразумевает его осаждение примерно одинаковым слоем.

Возможные причины неравномерного нанесения покрытия:

- неотработанный процесс нанесения материала, ручные методы нанесения;
- плохая адгезия покрытия к поверхности ПУ, к отдельным участкам и элементам;
- свойства жидкого материала: слишком высокая или наоборот слишком низкая вязкость. Высокое поверхностное натяжение материала. Материал под действием силы гравитации стекает на поверхность ПП, оставляя выводы незащищенными. При низкой вязкости может возникать капиллярный эффект;
- быстрое время отверждения материала мешает растеканию и образованию равномерного покрытия.

Решения:

- процесс влагозащиты должен быть отработан. Необходимо представлять, как будет нанесен материал тем или иным методом нанесения, чтобы обеспечить максимальное покрытие требуемых

участков ПУ;

- уменьшить либо увеличить вязкость материала;
- увеличить адгезию покрытия за счет использования грунтующего слоя;
- нанести материал на ПП в несколько тонких слоев, увеличив общую толщину покрытия. Селективные методы влагозащиты позволяют нанести материал избирательно на области, которые требуют увеличения толщины покрытия;
- дать материалу растечься, выдержать время перед полимеризацией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение хотелось бы сделать несколько важных выводов:

- Влагозащитный материал определяет технологию его нанесения.
- При выборе материала стоит провести анализ на его совместимость с ПП и компонентами. Нужно обязательно провести экспериментальные работы по нанесению материала на изделия, которые требуют влагозащиты, или их полные аналоги!
- Проверить пригодность существующего оборудования для нанесения выбранного материала.
- Качественный результат влагозащиты зависит, в первую очередь, от качественной подготовки поверхности ПП.
- Осуществлять полимеризацию покрытия нужно согласно документации на материал.
- Для оценки качества защиты печатного узла необходимо провести испытания.
- Необходимо следить за культурой производства и технологической дисциплиной.

ЛИТЕРАТУРА

1. IPC-A-610E, Критерии качества электронных сборок, 2010.
2. IPC-CC-830A, Qualification and Performance of Electrical Insulating Compound for Printed Board Assemblies, 1999.
3. IPC-HDBK-830, Guidelines for Design, Selection and Application of Conformal Coatings, 2002.
4. Информация с сайта <http://www.conformalcoating.co.uk>
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Reliability_engineering ■■